

**Ergometrisch definierte Herz-Kreislaufbelastung
von Kurpatienten beim Bergaufgehen**

Anwendung als Therapeutikum

Thomas Christmann

1974



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Drexel

Ergometrisch definierte Herz-Kreislaufbelastung
von Kurpatienten beim Bergaufgehen.
Anwendung als Therapeutikum.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin,
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der
Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Thomas Christmann
aus
Immenstadt

Jahr
1974

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Drexel
Mitberichterstatter:	Dipl. Phys. Dir. Dirnagl
Dekan:	Prof. Dr. Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	25.6.1974



Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
Fragestellung	1
1) Welche Laufgeschwindigkeiten (Schritte/Min) bei konstanter Steigung entsprechen bestimmten, vorher durch Fahrradergometrie festgelegten Belastungsstufen (Watt)	
2) Kann man die Laufbelastung so genau bestimmen, daß sie gezielt als Therapeutikum eingesetzt werden kann?	
3) Welche Voraussetzungen müssen für eine therapeutisch sinnvolle Anwendung gegeben sein?	
Versuchsbeschreibung und Ablauf	
1) Ergometer	1
2) Terrain	2
Ergebnisse	
1) Ergometer	5
2) Terrain	7
Diskussion	
Frage 1	12
Frage 2	16
Frage 3	24
Anwendbarkeit der erarbeiteten Ergebnisse	26
Praktische Durchführung	27
Schlußwort	28
Zusammenfassung	29
Literaturverzeichnis	31
Anhang	

Einleitung

In den letzten Jahrzehnten hat sich der Behandlungsablauf während einer Kur etwas geändert: Zu dem ursprünglichen Ziel der Kur, das Zusammenspiel aller Kräfte im Körper durch Ruhe und Erholung zu stabilisieren, ist ein neues hinzugekommen, nämlich, den gesamten Organismus durch eine geeignete Therapie zu trainieren und dadurch leistungs- und widerstandsfähiger zu machen (6).

Die seelische und körperliche Wiederaufrichtung des kurbedürftigen Patienten beruht vor allem auf der Rückführung zu einer natürlichen Lebensweise. Je einfacher und "natürlicher" der Weg dahin ist, desto positiver und freudiger wird sich der Patient dazu stellen - was zur Folge hat, daß durch das gehobene subjektive Befinden die gesteckten therapeutischen Ziele einfacher und leichter erreicht werden.

Seit sich die "aktive" Therapie durchgesetzt hat, ist das Gehen im Gelände von keinem Kurprogramm mehr wegzudenken - verständlich, da Wandern die natürlichste Art des Trainings darstellt (7).

Wie bei jeder Behandlungsmethode ist auch hier die Dosierung des angewandten "Heilmittels" wichtig, d.h. zu wenig ist wirkungslos, zu viel schadet (8). Daher wurden dieser Untersuchung folgende Fragen zugrunde gelegt:

Fragestellung

- 1) Welche Laufgeschwindigkeiten (gem. an Schritten/min) entsprechen bei konstanter Steigung bestimmten, vorher durch Fahrradegometrie festgelegten, Belastungsstufen (Watt)?
- 2) Kann man die Belastung so genau bestimmen, daß sie gezielt als Therapeutikum eingesetzt werden kann?
- 3) Welche Voraussetzungen müssen für eine therapeutisch sinnvolle Anwendung gegeben sein?

Versuchsbeschreibung und Ablauf

Der Versuch fand in Bad Tölz in Oberbayern statt. Bei den Probanden handelte es sich um Männer zwischen 45 und 60 Jahren, Kurpatienten der Kliniken Kaiserhof, Oberland und Fruth, die sich nach Erklärung des Untersuchungszieles zur Verfügung stellten.

a) Ergometer

Jeder Proband wurde zu Beginn seines Kuraufenthaltes einer Fahrradergometerbelastung unterzogen. Ausgetestet wurden die Belastungsstufen 50, 75, 100 und 125 Watt, bei gutem subjektiven und objektiven Verhalten wurde bis 150 Watt gesteigert. Zur Untersuchung wurde ein Fahrradergometer der Marke "MONARK" verwendet.

Die Belastung auf jeder einzelnen Stufe erfolgte über drei Minuten. Registriert wurden dabei

die Pulsfrequenz
der Blutdruck
die EKG-Kurve in den letzten 20 Sekunden
der jeweils ersten und dritten Minute.

Nach der Maximalbelastung erfolgte eine Ruhepause, die drei Minuten lang ebenfalls vom EKG-Schreiber registriert wurde.

Der überwachende Arzt brach die Untersuchung ab, wenn die EKG-Werte pathologisch oder die subjektiven Beschwerden zu groß wurden.

b) Terrain

Wenn es die EKG-Daten und die körperliche Verfassung des Patienten zuließen, wurde der erste Geländetest unternommen.

Die dazu ausgesuchte Wegstrecke war 400 m lang. Fünf Punkte wurden markiert:

Start
100 m
200 m
300 m
400 m = Endpunkt.

Die Steigung blieb bis kurz vor der 300 m-Marke konstant bei 6 %, wuchs dann kurz auf 12 % an und fiel von Punkt 350 m langsam auf 0° (Punkt 400 m) ab.

Bei den Geländetests wurden folgende Daten gemessen:

- 1) Die Pulsfrequenz (SF) an allen fünf Marken und 2 und 3 min nach dem Laufen;
- 2) Der Blutdruck (RR) vor, unmittelbar nach, 1 1/2 min und 2 1/2 min nach dem Lauf;

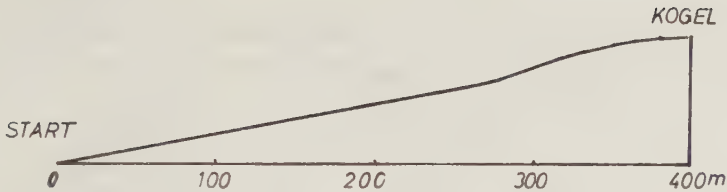


Abb. 1 Profil der Versuchsstrecke (Steigung 3-fach überhöht gezeichnet)

- 3) Das Minutenatemvolumen (MAV) vor und nach dem Lauf;
- 4) Die Zusammensetzung der Atemluft vor und nach dem Lauf;
- 5) Die Gesamtlaufzeit;
- (6) Die Schrittgeschwindigkeit; vorgegeben).

Die Pulsfrequenz wurde durch ein Sender-Empfängersystem übertragen, als Pulsmesser diente ein am Ohr befestigter Photoplethysmograph. Zur Messung des Blutdrucks wurde einer der üblichen RR-Blutdruckapparate benutzt. Das Atemminutenvolumen wurde mittels eines Ballons bestimmt, in den die Probanden eine definierte Zeit hineinatmeten. Der Balloninhalt wurde über eine Gasuhr (Versuch der Volumenbestimmung) in ein Gasanalysegerät geleitet, um die Werte für den O_2 - und CO_2 -Anteil zu erhalten.

Die Laufzeit wurde mit Hilfe einer Stoppuhr ermittelt, die Schrittgeschwindigkeit gab ein elektronisches Impulsgerät vor.

Die Teststrecke wurde jeweils einmal in der Woche zweimal nacheinander mit verschiedenen Schrittgeschwindigkeiten durchlaufen:

1. Woche		68 und 84 Schritte/min	
2. "		84 und 100	"
3. "		100 und 110	"
4. "		110	"

Die Läufe mit 84 und 100 Schritten/min wurden also im Abstand von einer

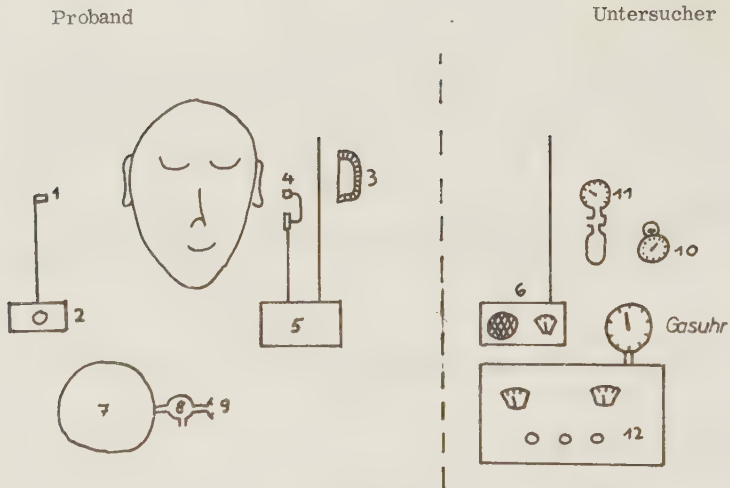


Abb. 2 Technische Hilfsmittel

- 1 Ohrhörer
- 2 elektronischer Schrittgeber
- 3 Abdeckhaube für
- 4 Photoplethysmograph
- 5 Sender
- 6 Empfänger
- 7 Ballon
- 8 Ventil
- 9 Mundstück
- 10 Stoppuhr
- 11 RR-Apparat
- 12 Labor

Woche jeweils wiederholt, um evtl. eine Aussage über die Reproduzierbarkeit und über den Trainingseffekt machen zu können.

Ergebnisse

a) Ergometer

Die am Ende jeder Belastungsstufe erhaltene Pulsfrequenz steigt im Durchschnitt linear mit der Wattleistung - der Belastung - an. Beispiel Abb. 3 a.

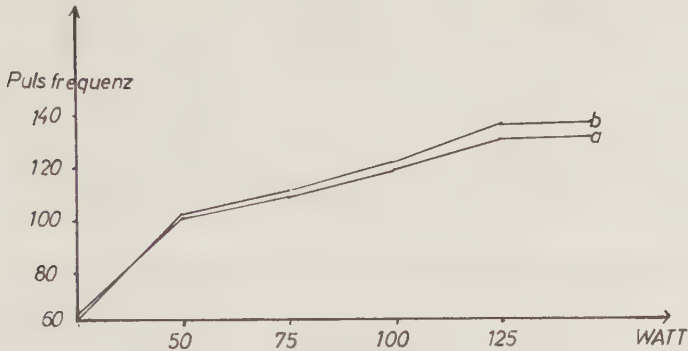


Abb. 3 Einzelbeispiel einer Pulsfrequenzkurve bei stufenweiser Belastung am Ergometer gemessen nach a) einer und nach b) drei Minuten.
a und b sind nahezu identisch durch sich ausbildende "steady states".
Siehe Text.

Projiziert man die Pulskurven derselben Belastungsstufen gemessen nach 1 und nach 3 Minuten aufeinander, so erweisen sie sich als nahezu identisch (Abb. 3). D. h. nach einer bestimmten, konstanten Belastung steigt die Pulsfrequenzkurve bis zu einem bestimmten Niveau an und verharret dort (steady state) bis zur nächsten Belastungserhöhung, worauf sie wieder ansteigt, ein Plateau bildet usw. .

Zur Verdeutlichung Abb. 4:

Auf der Ordinate ist die Zeit der Belastung, auf der Abszisse die Pulsfrequenz aufgetragen. Die Pfeile markieren jeweils den Zeitpunkt, an dem die Belastung erhöht wird. Die Pulsfrequenzmittelwerte aller Probanden bei stufenweiser Belastungssteigerung, gemessen nach a) 1 min und nach b) drei min sind in den Kurven der Abb. 5 dargestellt.

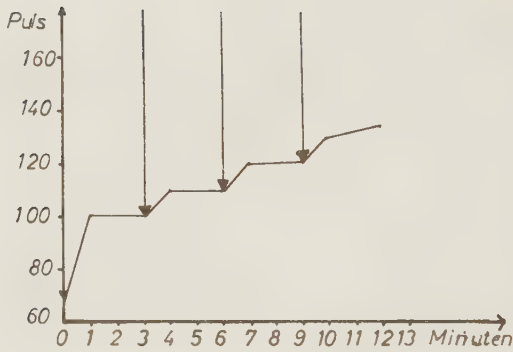


Abb. 4 Verlauf der Pulsfrequenzkurve eines Probanden bei stufenweiser Belastungssteigerung am Ergometer. Die Pfeile geben den Zeitpunkt einer 25-Watt-Belastungssteigerung an.

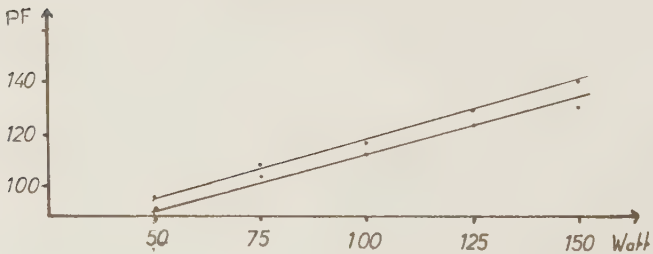


Abb. 5 Mittelwerte der Pulsfrequenzen aller Patienten am Fahrradergometer bei stufenw. Belastung gemessen nach a) einer und nach b) drei Minuten.

Abb. 6 zeigt dasselbe wie Abb. 5, jedoch dargestellt, wie bei Abb. 4 beschrieben.

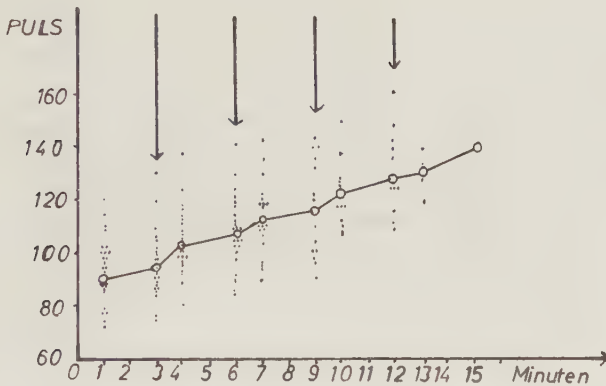


Abb. 6 Mittelwerte der Pulsfrequenzen aller Patienten am Fahrradergometer. Pfeile: 25-Watt-Belastungssteigerung.

Beim Vergleich der Kurven in Abb. 3 mit denen in Abb. 5, also beim Vergleich einer Einzelkurve mit der Durchschnittskurve fällt auf, daß bei der Durchschnittskurve die b)-Werte (3-min-Werte) höher liegen bzw. daß beim Vergleich der Kurven in Abb. 4 und 6 die Plateaus in der Gesamtkurve nicht mehr so horizontal wie in der Einzelkurve sind. Vgl. Diskussion.

Terraintest

Steigung der Teststrecke: Während der ersten 260 m konst. 6 %,
von 260 m bis 350 m Zunahme auf 12 %
und wieder Abfall auf 6 %
von 350 m bis 400 m Abfall auf 0°.

Abb. 7 zeigt die Pulsfrequenzkurven eines - soweit man im Rahmen einer Kur davon sprechen kann - gesunden Probanden bei verschiedenen Schrittgeschwindigkeiten.

Es läßt sich erkennen,

daß die Pulsfrequenz mit der höheren Schritt-

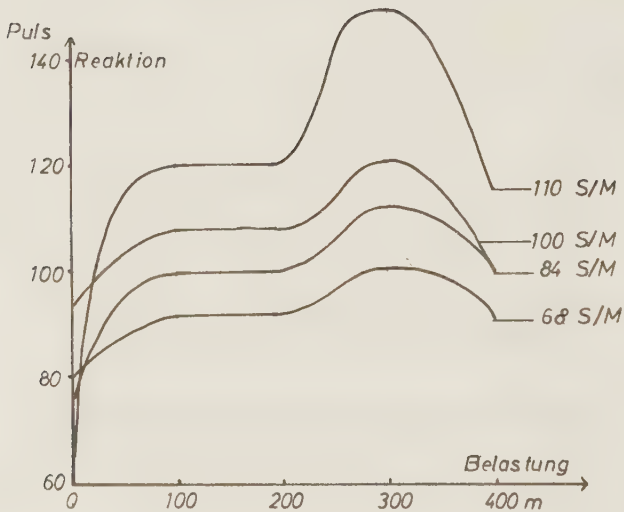


Abb. 7 Verhalten der Pulsfrequenz eines gesunden Probanden beim Gehen auf der Teststrecke mit versch. Geschw.

geschwindigkeit ansteigt,
daß sich bei konstanter Belastung (zwischen 100
und 200 m gemessen) ein steady state ausbildet,
und daß die Steigungszunahme bei 300 m mit einer
Frequenzzunahme beantwortet wird.

In Analogie zu den Ergometertests zeigt sich auch beim Terraintest, daß die Plateaus der Pulsfrequenzkurven bei der Gesamtkurve nicht so horizontal verlaufen wie bei der Einzelkurve. Abb. 8 (Siehe Diskussion).

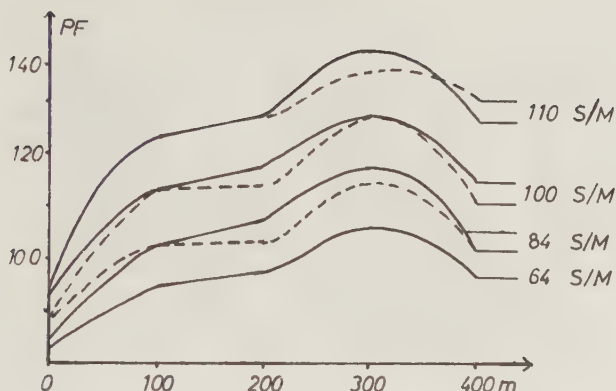


Abb. 8 Vergleich der Pulsfrequenzkurven beim Bergaufgehen mit verschiedenen Geschwindigkeiten
von einem Patienten (a = -----)
und von allen Patienten (b = Mittelwert = _____)

Atemluftmessungen

Die CO_2 -Konzentration steigt wie erwartet bei Belastung an, die O_2 -Konzentration nimmt ab. Abb. 9.

Die Messung des Atemminutenvolumens in der oben geschilderten Weise brachte keine auswertbaren Ergebnisse, da sich kein einheitlicher "Atemgewinnungsmodus" fand (Die Aufforderung, "ganz normal" zu atmen, bewirkte bei den Probanden meist das Gegenteil); auch war unter den Bedingungen im Gelände kein unbedingt dichter Anschluß des Probanden an den Atemsack zu erzielen.

Blutdruckverhalten

Der systologische Blutdruck steigt sowohl beim Ergometertest als auch beim Terraintest der Belastung entsprechend an. Der diastolische Blutdruck steigt

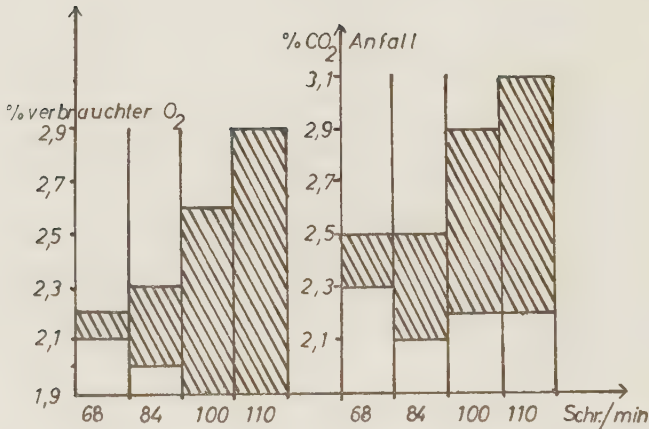


Abb. 9 Mittelwerte der Konzentration von O₂ und CO₂ in der Ausatemluft aller Probanden vor der Belastung (untere Grenze) und nach der Belastung (obere Grenze), ausgedrückt in % (mehranfallendes CO₂ bzw. vermindertes O₂ gegenüber der Einatemluft).

ebenfalls bei beiden Tests leicht an, beim Terraintest wird die Steigung jedoch mit zunehmender Belastung geringer (bei Tempo 110 Schr/min sogar negativ), während sie beim Ergometer zunimmt. (Abb. 10 und 11). Der diastolische Blutdruck beim Ergometertest liegt außerdem während des ganzen Versuchs um ca. 10 mm Hg tiefer als beim Terraintest (Meßfehler? Armhaltung?).

Der direkte Vergleich der systolischen Werte bei Ergometer und Gelände ist mit diesen Werten nicht möglich, da die Ergometerkurve den Blutdruck während einer Belastungserhöhung zeigt, die Geländekurven jedoch das Blutdruckverhalten bei konstanter Belastung.

Ein grob angenäherter Vergleich läßt sich herbeiführen, wenn man die vier verschiedenen schnellen Geländeläufe zusammenzieht (zu "einem" Geländetest mit steigender Belastung und diese Kurve der Ergometerkurve gegenüberstellt (Abb. 12)).

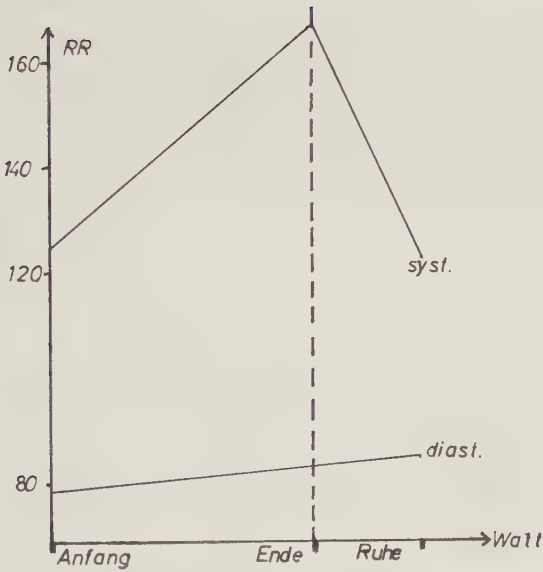


Abb. 10 Blutdruckverhalten aller Probanden beim Ergometertest; drei Meßpunkte: Anfang, Ende der Belastung und nach einer Ruhepause von ca. 5 Min.

Die Kurven beider Tests entsprechen sich ungefähr, da die Belastungssteigerung am Ergometer um 25 Watt (zufällig der Belastungssteigerung im Gelände um ca. 15 Schritte entsprach. (Näheres siehe Diskussion).

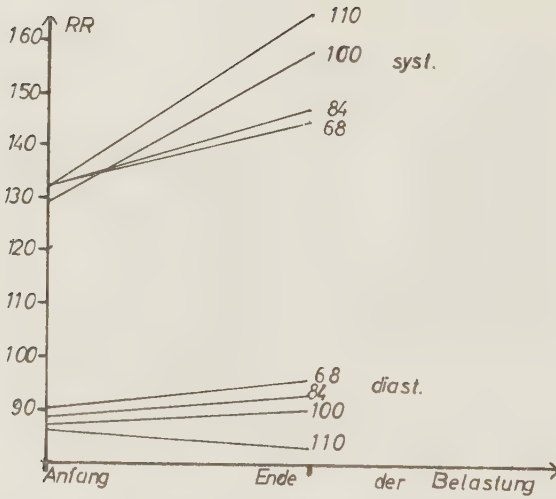


Abb. 11 Blutdruckverhalten aller Probanden beim Geländetest; drei Meßpunkte: Anfang und Ende der Belastung und nach 1 1/2 bzw. 2 1/2 Min.

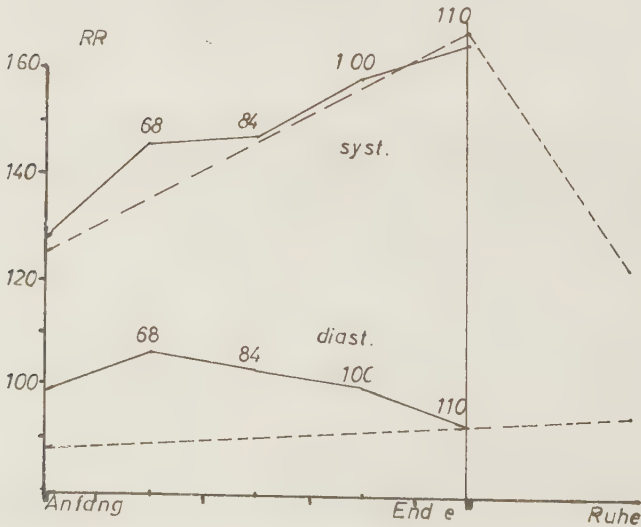


Abb. 12 Blutdruckverhalten aller Probanden beim Fahrradergometer-test ----- und beim Geländetest. _____.

Zu Abb. 12 Beim Geländetest wurden die Blutdruckmaxima der einzelnen Schrittgeschwindigkeiten in einer Kurve dargestellt, um einen Vergleich mit der sich steigenden Ergometerbelastung zu ermöglichen. Diese Gegenüberstellung kann jedoch nur als grob schematisch gewertet werden, da die Ergometerkurve nur mit zwei Werten definiert ist (Anfang und Ende der Belastung).

Diskussion

1. Frage: Welche Laufgeschwindigkeit (Schritte/Minute) bei konstanter Steigung entsprechen bestimmten, vorher durch Fahrradergometrie festgelegten Belastungsstufen?

Um die Herzfrequenzkurven der Fahrradergometer- und Terraintests miteinander vergleichen zu können, bedarf es eines gemeinsamen Bezugspunktes. Bei der vorliegenden Arbeit wurden die Plateaus der einzelnen Kurven dazu verwendet.

Begründung: Die Belastung während beider Versuche war jeweils konstant.
Die Belastung während beider Versuche wurde jeweils stufenweise erhöht (Ergometer: Erhöhung der Wattzahl,
Gelände: Erhöhung der Schrittzahl)
Konstante Belastung im physiologischen Bereich wird vom Körper mit konstanter Herzfrequenz beantwortet. (2). Es bildet sich ein steady state.
Gleiche steady states = gleiche Belastung.

Eine weitere Vergleichsmöglichkeit wäre die Pulsfrequenz der Probanden bei Erreichen ihrer Leistungsgrenze (6). Davon wurde jedoch hier Abstand genommen, da es sich bei den Probanden um Kurpatienten in teilweise reduziertem Allgemeinzustand handelte.

Abb. 13 zeigt die Projektion aller Pulsfrequenzmittelwertskurven beider Versuche aufeinander.

Die Plateaus der einzelnen Kurven sind längs (Terrain) und quer (Ergometer) schraffiert. Durch Projektion der Ergometerplateaus auf die Terrainplateaus (quer gestrichelt) lassen sich bei drei Belastungsstufen (zufällige) Übereinstimmungen erkennen (gekreuzter Anteil der Terrainplateaus). Diese Übereinstim-

mungen sind sich entsprechende Pulsreaktionen, d. h. die Belastung an dieser Stelle ist beim Bergaufgehen dieselbe wie beim Fahrradergometertreten.

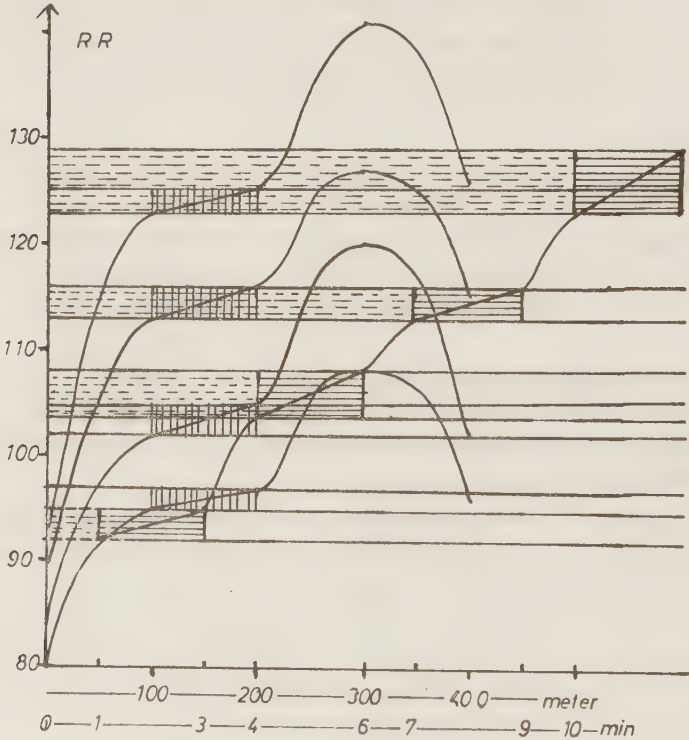


Abb. 13 Projektion der Pulsfrequenzmittelwertskurven beider Versuche aufeinander. Plateaus schraffiert (Terrain längs, Ergometer quer) Projektion der Ergometerplateaus auf die Terrainplateaus quer gestrichelt. Plateau-(= steady-state-) Übereinstimmungen gekreuzt.

Zur Erstellung einer Interpolations-(= Eich-) Kurve sind in Abb. 14 die Mittelwerte der Ergometerplateaus und der Geländetestplateaus aufgetragen:

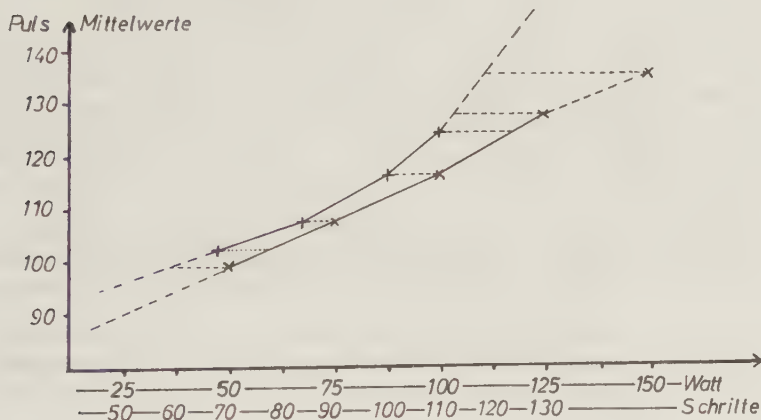


Abb. 14 Pulsfrequenzmittelwertskurven der Gelände- und Ergometer-test-plateaus.

Punkte (+) der Geländekurve: Mittelwerte der Pulsfrequenzen der Meßpunkte 100 m und 200 m (Plateau in der Geländepulsfrequenzkurve) bei versch. Schr. Geschw.

Punkte (x) der Fahrradergometerkurve: Mittelwerte der Pulsfrequenzen der Meßpunkte 1 Min und 3 Min bei verschiedenen Belastungen (Plateaus in der Ergometerkurve).

Daraus lässt sich die Interpolationskurve ableiten;

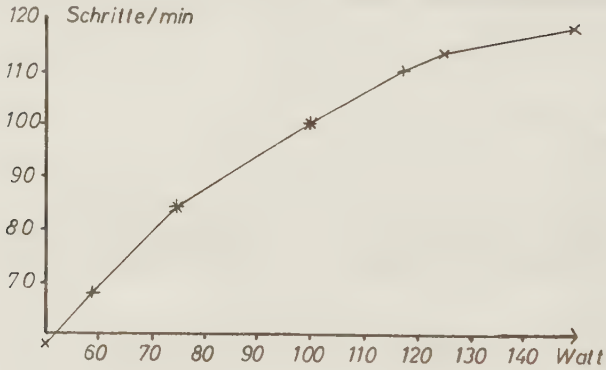


Abb. 15 Interpolationskurve = Eichkurve für die Beziehung Ergometerbelastung - Belastung durch Bergaufgehen mit verschiedenen Schrittgeschwindigkeiten.

Die Kurve in Abb. 5 zeigt eine leichte Krümmung, die wahrscheinlich zweierlei Ursachen hat:

- die physikalische Grundbelastung nimmt beim Bergaufgehen mehr zu als beim Ergometertreten und
- die Schritte werden bei höheren Geschwindigkeitsstufen länger, d.h. die Schrittzahl verringert sich bei höherer Schrittfolge (Abb. 15)*.

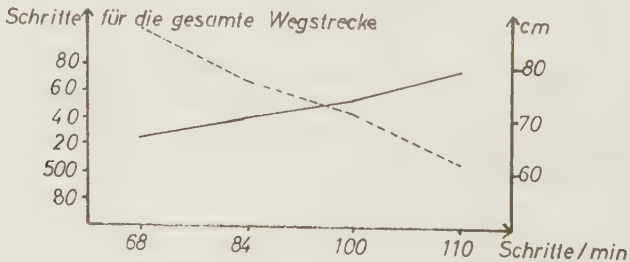


Abb. 15* Abnahme der Schrittzahl beim Geländetest bei Erhöhung der Schrittfolge ----- und Zunahme der Schrittweite ———.

2. Frage: Kann die Belastung so genau bestimmt werden, daß sie gezielt als Therapeutikum eingesetzt werden kann?

Zwei Faktoren sind zu berücksichtigen:

Der Rahmen und

die Streubreite dieser Untersuchung.

Rahmen: Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden mit einer ganz bestimmten Teststrecke und mit einem ganz bestimmten Probandenkreis erarbeitet. Sie sind deshalb nur dort bzw. an einer vergleichbaren Strecke und mit einem vergleichbaren Personenkreis reproduzierbar und anwendbar. Um das Gehen allgemein als Therapeutikum gezielt einsetzen zu können, sind daher noch weitere, ähnliche Testreihen erforderlich (verschiedene Steigungen, verschiedene Weglängen, andere Patienten usw.).

Streubreite: Tabelle 1 und 2 vermitteln eine Übersicht über die Streuung der Ergebnisse bei den Tests am Fahrradergometer und im Gelände.

Ergometer				
Watt	50	75	100	125
$\bar{x}$	99,43	107,34	115,59	126,97
sx	11,98	14,55	14,57	15,04
$s^2_{\bar{x}}$	3,094	3,638	3,895	4,758
Terrain				
Schritte/min	68	84	100	110
$\bar{x}$	100,35	107,33	116,44	127,73
sx	12,83	11,10	10,88	11,77
$s^2_{\bar{x}}$	3,428	2,777	2,810	3,721

Tabelle 1 und 2 Mittelwerte der Pulsfrequenzen der Probanden, die sowohl Ergometer-, als auch Geländetests absolvierten. Angegeben sind beim Ergometertest die Mittelwerte ($\bar{x}$) der Belastungsplateaus

(Mittelwert aus 1. + 2. Versuch 1 und 3 Min nach Belastungserhöhung) nach Belastung mit 50, 75, 100 und 125 Watt Belastung, die Standardabweichung der Einzelwerte (s_x) und die Standardabweichung der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$), beim Geländetest die Mittelwerte ($\bar{x}$) der Belastungsplateaus (Mittelwert aus 1. + 2. Lauf an Meßpunkt 100 m und 200 m) bei den Schrittfolgen 68, 84, 100 und 110 Schritten/Min, die Standardabweichung der Einzelwerte (s_x) und die Standardabweichung der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$).

Abb. 16 und 17 zeigt die Streuung als graphische Darstellung:

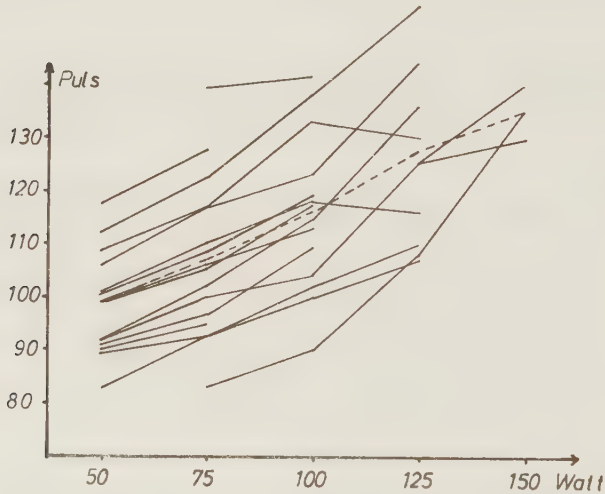


Abb. 16 Streubreite der Ergebnisse beim Fahrradergometerversuch. Die einzelnen eingetragenen Werte entsprechen den Mittelwerten aus ein- und dreiminütiger Belastung.

Mittelwert aller Kurven -----

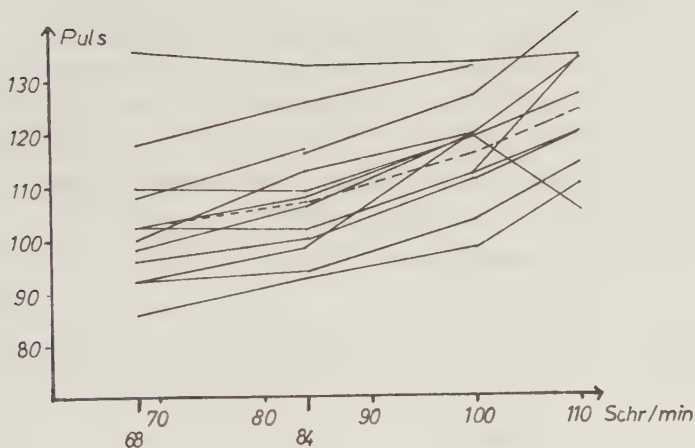


Abb. 17 Streubreite der Ergebnisse bei den Geländetests. Die einzelnen eingetragenen Werte entsprechen den Mittelwerten aus den an Punkt 100 m und Punkt 200 m gemessenen Pulsfrequenzen.
Mittelwert aller Kurven -----

Drei Arten der Streuung lassen sich erkennen:

- Parallelabweichung von der Mittelwertskurve, gleiche Steigung wie diese;
- Schwerpunktverschiebung gegenüber der Mittelwertskurve und andere Steigung wie diese; Steigung verhält sich jedoch proportional zur Mittelwertskurvensteigung;
- Schwerpunktverschiebung gegenüber der Mittelwertskurve und Abweichung der Steigung; Steigung verhält sich nicht proportional zu Mittelwertskurvensteigung.

Typ 1 und 2 stellen normale individuell verschiedene Herz-Kreislaufreaktionen der jeweiligen Patienten dar; die parallele Abweichung von der Mittelwertskurve besagt, daß sich die Puls'normallage' in einem anderen Bereich befindet, die proportionale Abweichung von der Steigung besagt, daß Herz und Kreislauf des jeweiligen Patienten auf einen Belastungsreiz anders,

jedoch "normal" (konstante Belastungserhöhung = konstante Pulserhöhung) reagiert.

Typ 3 sind Patienten, deren Suffizienzbreite eingeschränkt ist (in-konstante Herz-Kreislaufreaktion auf konstante Belastungserhöhung) und bei denen Laufen nach Eichkurve nicht ohne weitergehende Untersuchung verordnet werden sollte (siehe Seite 25).

Die allgemein möglichen Ursachen für die Streuung lassen sich grob in zwei Gruppen aufteilen:

a) exogene Ursachen

Klima

Kurablauf

b) endogene Ursachen

Alter

Konstitution

Training.

Der Einfluß von Klima und Kurbetrieb (vorangegangene Anwendungen, Mahlzeiten usw.) läßt sich aus den in dieser Untersuchung gewonnenen Ergebnissen nicht ersehen (siehe auch Anhang Abb. I).

Endogene Ursachen

Alter: Die alleinige Messung von Puls und Blutdruck in Ruhe und Belastung genügt nur beim Gesunden (bis 40 Jahre). Beim älteren und geschädigten Patienten reicht diese Untersuchung nicht mehr aus (6):

Die maximal erreichbare Pulsfrequenz unterliegt mit zunehmendem Alter einem immer stärker werdenden Bremseffekt (Abb. 18), da die Elastizität des Herz-Kreislaufsystems mit steigendem Alter abnimmt; die maximale Sauerstoffaufnahme sinkt ab; kardinale und pulmonale Schädigungen können eingetreten sein (6).

Konstitution

Die einfachste Ursache für die konstitutionell bedingte Streuung ist die individuell verschiedene Puls- und Blutdruckausgangslage der Patienten. Ein "Gesunder" mit einer Blutdruckruhelage von 160 mm Hg syst. hat natürlich auch bei Belastung einen höheren Blutdruck als ein Proband, dessen Ruhewert bei 100

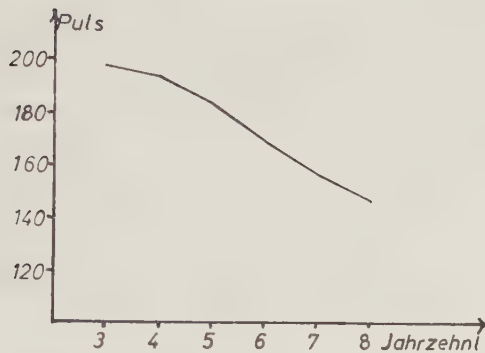


Abb. 18 "Bremsseffekt"; Abnahme der maximal erreichbaren Pulsfrequenz mit zunehmendem Alter (nach Hollmann, 6)

liegt; ebenso verhält es sich mit extrem auseinanderliegenden Pulsruhelagen (Abb. 19)

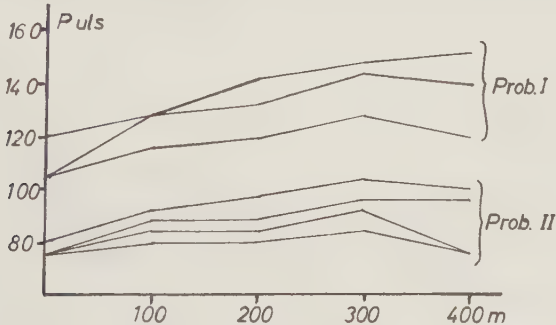


Abb. 19 Vergleich der Pulskurven zweier Probanden mit weit auseinanderliegend Pulsruhelagen bei gleich. Belastung

Als weitere Ursache für eine Streuung kommt der unterschiedliche Gesundheitsgrad in Frage. Ein Proband mit einer Koronarinsuffizienz erreicht seine Leistungsgrenze früher als ein weniger geschädigter Patient. Die Grenze der Belastbarkeit drückt sich in den meisten Fällen durch einen steilen Anstieg der

Pulsfrequenzkurve aus (9), d.h. die Plateaus (Zeichen eines erreichten steady states) sind in der Gesamtpulskurve schräger als in den Einzelkurven, da einige Probanden ihre Leistungsgrenze früher erreichten = erhöhter Anstieg = größere Streuung. (Vgl. Abb. 7 u. 8). Eng mit der Konstitution ist der Trainingszustand verknüpft.

Zur Verdeutlichung Abb. 20 a: Proband A hatte vor 5 Jahren einen Herzinfarkt; nach narbiger Ausheilung begann er mit einem langsam aufbauenden Training und kam in gut trainiertem Zustand zur Kur. Proband B war der jüngste der Versuchsgruppe und nahezu gesund, war jedoch stark adipös und völlig untrainiert. Proband A erwies sich unter denselben Bedingungen erheblich leistungsfähiger als Proband B. Abb. 20 b zeigt die Pulsfrequenzkurve von Proband B nach zweiwöchigem Kuraufenthalt (500 Kal/Tag, dabei viel körperliches Training). Die Kurven haben sich weitgehend "normalisiert", d.h., die Leistungsgrenze wurde angehoben, der Körper paßt sich der neuen Situation (Belastung) nicht mehr durch fortschreitende Puls- und Blutdruckerhöhung an (Leistungsgrenze nahe), sondern es bildet sich ein steady state aus (Leistungsreserve vorhanden).

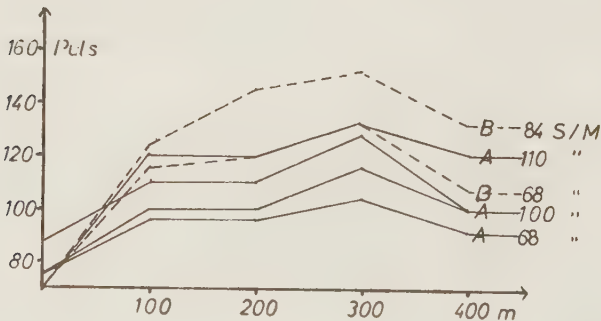


Abb. 20 a Vergleich eines trainierten Probanden (A) mit einem untrainierten (B)

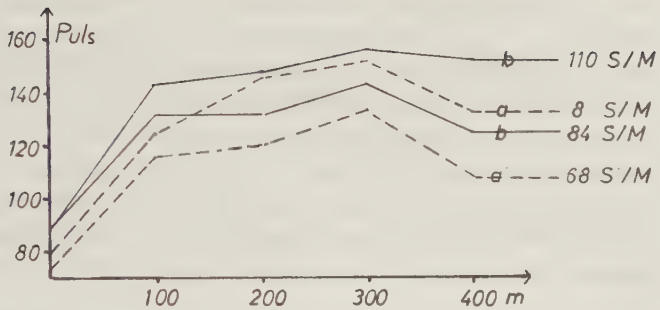


Abb. 20 b Versuchsperson B im untrainierten (a = ----) und trainierten Zustand (b). Die Pulsfrequenzkurve b zeigt im Gegensatz zu a deutlich die Ausbildung von Plateaus. Erläuterungen im Text.

Daß der Trainingseffekt einer Kur für die Streuung mitverantwortlich ist, verdeutlicht auch Abb. 21:

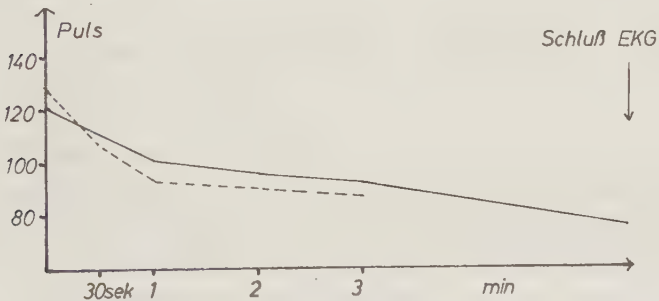


Abb. 21 Verhalten der Pulsfrequenzkurven nach Belastungsende (Fahrradergometer) bei Kuranfang und am Schluß der Kur. Mittelwert aller Probanden.

Hier wurde das Pulsverhalten vor und nach der Kur nach Fahrradergometerbelastung verglichen. Je belastungsfähiger ein Patient ist, d. h. je trainierter,

desto schneller kehrt seine Pulsfrequenz nach einer Belastung zu der Ruhepulslage zurück (4, 7). Die Pulsfrequenzkurve der Probanden bei Kurende (gestrichelt) nähert sich schneller und steiler der Ruhelage als die entsprechende Kurve bei Kurbeginn (durchgezogen). Der höhere Wert der Endkurve sofort nach Belastung resultiert aus der Leistungssteigerung während der Kur:

Die Patienten konnten bei Kurende am Ergometerfahrrad meist ein bis zwei Stufen höher (höherer Pulsanstieg) belastet werden als beim Kurbeginn.

Tabelle 3 gibt gleichfalls Auskunft über den Trainingseffekt der Kur und veranschaulicht gleichzeitig die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Geländeversuche.

Es wurden die Pulsfrequenzmittelwertskurven aller Probanden bestimmt, die die Teststrecke zweimal mit derselben Schrittfolge durchliefen bzw. zweimal einen Fahrradergometerversuch absolvierten und mit Hilfe des t-Tests nach STUDENT ausgewertet.

Terrain						
Schr/Min	84		100			
Test	1	2	1	2		
n	14	14	14	14		
$\bar{x}$	107,64	106,71	115,78	116,07		
$s_{\bar{x}}$	4,002	2,778	3,035	3,245		
p	0,45		0,475			
Ergometer						
Watt	50		75		100	
Test	1	2	1	2	1	2
n	6	6	6	6	6	6
$\bar{x}$	104,33	93,42	114,00	99,50	122,50	109,58
$s_{\bar{x}}$	2,954	1,859	3,471	2,224	4,830	1,736
p	0,05 ⁺		0,05 ⁺		0,10	

⁺ signifikant (Signifikanzgrenze bei 0,05)

Tab. 3 Vergleich der Pulsfrequenzkurven der Probanden, die zwei Gelände-

tests mit derselben Schrittfolge bzw. zwei Fahrradergometertests absolvierten.

Beim Geländetest sind die Mittelwerte ($\bar{x}$) und die Standardabweichung der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$) der Frequenzplateaus (Mittelwert der Pulsfrequenzen bei Meßpunkt 100 und 200 m) angegeben, beim Fahrradergometertest gleichfalls $\bar{x}$ und $s_{\bar{x}}$ und der Frequenzplateaus (Mittelwert der Pulsfrequenzen nach ein- und dreiminütiger Belastung) nach Belastung mit 50, 75 und 100 Watt. Auswertung mit dem t-Test nach STUDENT.

p ist die Wahrscheinlichkeit, daß der gefundene Unterschied d mit der Nullhypothese $d = 0$ übereinstimmt.

Beim Vergleich der Pulsfrequenzkurven der Ergometertests 1 und 2 zeigt sich eine signifikante Änderung der Mittelwertskurven. Sie sagt nicht aus über die Reproduzierbarkeit (zu großer zeitlicher Abstand von durchschnittlich 3 Wochen), viel mehr ist sie als Trainingseffekt der Kur zu deuten.

Die Mittelwertskurven der Pulsfrequenzen bei den Geländeläufen (zeitlicher Abstand zwischen den beiden Messungen jeweils ca. 1 Woche) zeigen keine signifikante Änderung. Die Übereinstimmung der Mittelwertskurven weisen auf eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei den Geländeläufen.

Frage 3 Welche Voraussetzungen müssen für eine therapeutisch sinnvolle Anwendung erfüllt sein?

Als Leitgedanken dazu ein Zitat von Hollmann (7):

Für die Klinik besitzt das Auftrainieren älterer, gesunder Menschen oder Herz-Kreislaufgeschädigter das Hauptinteresse. Es ist gleichzeitig das dankbarste, aber auch das gefährlichste Gebiet. Oft ist es nur ein schmaler Pfad, der zwischen wirkungslos bleibender Beanspruchung einerseits, zusätzlicher Schädigung andererseits zur erstrebten Wirkung führt."

Nur durch eine exakte Dosierung kann ein Therapieerfolg erzielt werden. Dazu muß sich der Therapeut über zwei Dinge im Klaren sein:

Über die Dosis, die er geben soll und

über die Dosis, die er geben kann.

Ein Bezugspunkt über die günstigste Laufdosis beim Bergaufgehen ist eventuell der Wirkungsgrad (Verhältnis von ausgeführter Leistung und verbrauchter Energie) (11, 14). Der maximale Wirkungsgrad (= bestes Verhältnis) liegt nach R. Margaria bei 25 %. In Kilometer pro Stunde ausgedrückt:

- 4 - 5 Km/St bei 5 % Steigung,
- 3, 5 Km/St bei 10 % Steigung und
- 3 Km/St bei 15 % Steigung (11).

Diese Werte gelten jedoch nur für den gesunden, jüngeren Menschen. Die Dosis, die gegeben werden kann, muß deshalb genau auf den Suffizienzbereich des Einzelnen abgestimmt werden. Damit liegt die Antwort auf Frage 3 auf der Hand:

Die Voraussetzung für eine therapeutisch sinnvolle Anwendung des Bergaufgehens ist die genaue Kenntnis des Suffizienzbereiches des einzelnen Patienten (6). Dabei ist besonders das Alter, der Gesundheitszustand und der derzeitige Trainingszustand zu berücksichtigen.

Beim relativ Gesunden bis 40 Jahre läßt sich der Suffizienzbereich mit Hilfe der Puls- und Blutdruckmessung festlegen (6). Beim Kurpatienten über 40 Jahre kann jedoch jederzeit ein Schaden vorliegen, durch den die Laufdosis verringert werden muß, obwohl Puls und Blutdruck normal sind. Zur genaueren Austestung bedarf es daher noch einiger weiterer Größen, d. h. Werte, die objektiv Aufschluß über Gesundheitszustand und Belastbarkeit des Patienten geben.

"Die wichtigste Vorbedingung zur Aufnahme eines körperlichen Trainings sowohl beim älteren gesunden Menschen wie beim Herz-Kreislaufgeschädigten ist die Festlegung seines Suffizienzbereiches. Ohne Kenntnis der physiologischen Leistungsgrenze ist die regelmäßige Aufnahme körperlicher Belastung beim untrainierten alten Menschen gefährlich, beim Herz-Kreislaufgeschädigten sogar streng kontraindiziert. Die Austestung des Leistungsbereiches erfolgt zweckmäßigerweise mit Hilfe der Spiroergometrie, die genaue, jederzeit reproduzierbare Ergebnisse verbürgt. Nach erfolgter Bestimmung der Suffizienzgrenze kann der ermittelte Wert auf zahlreiche sportliche oder arbeitsmäßige Größen umgerechnet werden." (7)

"Das zuverlässigste Kriterium ist die maximale Sauerstoffaufnahme. Das Verhalten der Sauerstoffaufnahme in submaximalen Arbeitsbereichen sagt uns

nichts über die Leistungsfähigkeit aus. Je geringer das Atemminutenvolumen, der Atemäquivalentwert und die Pulsfrequenz in submaximalen Bereichen ausfallen, desto größer die Leistungsfähigkeit eines gesunden Menschen." (6)

Der Atemäquivalentwert ist $\frac{\text{Atemminutenvolumen}}{\text{O}_2\text{-Aufnahme}}$ (7).

Der Grenzwert liegt bei 25 - 28; steigt er höher an, nähert sich der Patient seiner Leistungsgrenze, ein weiterer Anstieg bedeutet Insuffizienz (7). Da es bei manchen - gerade Herz-Kreislauf- - Patienten nicht ratsam erscheint, bis zur Leistungsgrenze zu testen, sind die Anzeichen der nahenden Grenze von Wichtigkeit:

Atemminutenvolumen und Atemäquivalent steigen als Ausdruck einer metabolischen Azidose unproportional an, die Pulsfrequenz ist auf der gegebenen Belastungsstufe abnorm hoch (6).

Zur Austestung der kardialen Suffizienz bietet sich das EKG an, speziell das ErgometerEKG.

"Das Ergometrie EKG erlaubt uns Aussagen über das Verhalten des Myokards auf dosierten Belastungsstufen. Es ist heute die beste Methode zur Frühdiagnose latenter Koronarinsuffizienzen. Das heißt nicht, daß jede gelegentlich auftretende Koronarinsuffizienz mit dieser Methode entdeckt werden kann. Andererseits kann man sagen, daß das Erreichen einer hohen Belastungsstufe ohne abnorme EKG-Veränderungen erkennen läßt, daß entweder keine organischen Koronarveränderungen vorliegen oder aber die Kompensationsmechanismen so gut ausgeprägt sind, daß eben die entsprechende Belastungsstufe ohne das Auftreten abnormer Größenordnungen in den blutigen und unblutigen Kriterien erreicht wurden.

Im Vordergrund des Interesses steht beim Ergometer EKG ST-Senkungen und Rhythmusstörungen." (6)

Anwendbarkeit der in der vorliegenden Untersuchung erarbeiteten Ergebnisse

In dieser Arbeit wurde versucht, quantitative Maßstäbe der Dosierung zu finden, an denen sich der Therapeut orientieren kann, wenn er Gehen in seinen Kurplan aufnimmt.

Da jedoch ohne spirometrische Voruntersuchung gearbeitet wurde und der

Probandenkreis einerseits recht speziell (nur Männer), andererseits wiederum recht unterschiedlich (Alter, Gesundheit, Trainingszustand usw.) zusammengesetzt war, kommt für eine praktische Anwendung der vorliegenden Ergebnisse nur ein ganz bestimmter Patientenkreis in Frage:

ca. 50-jährige Männer, die relativ gesund sind (norm. Untersuchung, EKG) und sich in einem normal durchschnittlichen Trainingszustand befinden und zu Beginn der Kur einen Fahrradergometertest zur Austestung ihrer individuellen Puls- und Blutdrucklage und -reaktion absolviert haben.

Für alle außerhalb dieser Gruppe stehenden muß die Laufdosis unter Berücksichtigung der im vorigen Kapitel besprochenen Faktoren variiert werden, um zu befriedigenden Erfolgen bei minimalem Risiko zu gelangen.

Praktische Durchführung

Patienten, die die oben genannten ersten drei Voraussetzungen erfüllen, werden zu Kurbeginn einem Fahrradergometertest zugeleitet; je nach Reaktion (Puls, Blutdruck, EKG) wird vom überwachenden Arzt die für den Patienten günstigste Wattzahl festgelegt und mit Hilfe der Eichkurve in Schritte pro Minute umgerechnet. Der Patient erhält nun einen auf die entsprechende Schrittgeschwindigkeit eingestellten Impulsgeber mit Ohrhörer und wird ein- oder mehrmals am Tag auf die Teststrecke geschickt.

Soll streng dosiertes Laufen allgemein und für jeden Kurpatienten ins Kurprogramm aufgenommen werden, so sollten zur Vermeidung von (gefährlichen) "Über"- bzw. (nutzlosen) "Unter"-Dosierungen unbedingt weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Durch Austestung weiterer Wege (Rundkurs usw.), Anbringung von Meßmarken und Aufstellung von erläuternden und hinweisenden Tafeln könnte dieser Art der Therapie noch attraktiver gestaltet werden. Prof. Hollmann schlägt vor, daß in dem betreffenden Kurort ein komplett eingerichteter Prüfstand des kardiopulmonalen Systems mit der Möglichkeit der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung eingerichtet werden soll. Dadurch halten sich finanzieller und personeller Aufwand in Grenzen. Die Kurpatienten werden dort zu Kurbeginn untersucht und die Leistungsdiagnose wird der behandelnden Kurarztgruppe zugeleitet. Im Laufe der Kur werden die Patienten an Prüfständen "zweiter Klasse" (Fahrradergometer, EKG-Gerät,

Blutdruck und Pulsprüfer) überwacht (6).

"Abschließend sei darauf hingewiesen, daß eine eindeutige Aussage über die Belastbarkeit eines Patienten trotz aller apparativen Möglichkeiten oftmals schwerfällt und stets sämtliche registrierten Parameter nebeneinander zur Beurteilung herangezogen werden müssen. Die Betrachtung eines einzelnen Parameters kann zu irreführenden Schlüssen führen. Die Abschlußbeurteilung muß von einem erfahrenen Leistungsdiagnostiker erfolgen. In diesem Zusammenhang hat auch heute noch eine exakt erhobene Leistungsanamnese ihre Bedeutung." (Prof. Hollmann, 6)

Zusammenfassung

1) Fragestellung

Welche Fahrradergometerbelastung (Watt) entspricht welcher Laufbelastung (Schritte/Min) bei 6 % Steigung?

Kann die Laufbelastung so genau bestimmt werden, daß sie gezielt als Therapeutikum eingesetzt werden kann?

Welche Voraussetzungen müssen für eine therapeutisch sinnvolle Anwendung gegeben sein?

2) Vergleich zweier Testreihen an den gleichen Probanden.

a) Fahrradergometer

Zwei Versuche (Anfang und Ende der Kur)

50 Watt Grundbelastung, dann stufenweise Steigerung der Belastung um 25 Watt, in 3-minütigen Abständen.

b) Gelände

Ein Lauf mit 68 Schritten/Min

Zwei Läufe mit 84 und 100 Schritten/Min

Ein Lauf mit 110 Schritten/Min

Wegstrecke 400 m

Steigung 6 %, gegen Ende 12 %, am Ende 0°.

3) Meßmethoden

Ergometer: Registrierung von Puls und EKG jeweils in der 1. und 3. Min. jeder Belastungsstufe, Messung des Blutdrucks am Anfang und Ende.

Gelände: Pulsmessung mit Telemetriegerät nach 100, 200, 300 und 400 m Laufstrecke, Blutdruck, Atemluftvolumen und Zusammensetzung vor und nach dem Lauf, Gesamtzeit.

4) Probanden

40 - 60-jährige Kurpatienten dreier Kurkliniken in Bad Tölz.

5) Ergebnisse

- a) Aufstellung einer Interpolationskurve zur Ableitung der Beziehung Watt-Schrittgeschwindigkeit
- b) Graphische Darstellung und Berechnung der Streuung. Abweichungen von der Mittelwertskurve bedeuten teils individuelle (physiologische) Pulsfrequenzlagen, teils Einschränkungen des Suffizienzbereiches. Von den Streuungsursachen: Klima und Kurbetrieb, Alter, Konstitution und Trainingszustand war nur der kurbedingte Trainingseffekt mit Hilfe der Pulsfrequenzkurve am Fahrradergometer feststellbar; bemerkenswert die gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Gängeläufe.

6) Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich Anwendbarkeit und praktischer Durchführung

Den Streufaktoren muß durch individuelle Dosierung Rechnung getragen werden; dazu ist die Kenntnis des jeweiligen Suffizienzbereiches notwendig. Zuverlässigste Aussage darüber mit spirometrischer Untersuchung. Besonders bedeutsam hierbei ist der Atemäquivalenzwert. Ohne spirometrische Untersuchung sind die Ergebnisse bei ca. 50-jährigen, relativ gesunden, normal trainierten Personen anwendbar. Nach Austestung der jeweiligen individuellen Puls- und Blutdrucklage durchlaufen die Patienten mit der für sie günstigsten Schrittfolge (tragbarer elektronischer Taktgeber) ein- oder mehrmals täglich die ausgetestete Wegstrecke. Wenn gezielt dosiertes Gehen allgemein ins Kurprogramm aufgenommen wird, sollte ein zentraler spiroergometrischer Prüfstand eingerichtet werden, an dem jeder Kurpatient zu Beginn seines Aufenthaltes auf seinen Suffizienzbereich untersucht wird; Überwachung und Verlaufskontrolle ist an kleineren Prüfständen (Fahrradergometer) möglich.

Literaturverzeichnis

- 1 Delius, L. und
 H. Reindell Die Kreislaufregulation in ihrer Bedeutung für
 Leistungsfähigkeit und Lebenserwartung
 Rehabilitation S. 9, Frankfurt 1965

- 2 Dransfeld, B. und
 H. Mellerowicz Untersuchungen über das Verhalten der Herz-
 schlagfrequenz während und nach körperlichen
 Leistungen
 Arbeitsphysiologie 16 1957 464

- 3 Gillmann, H. und
 K. Colberg Untersuchung über die Lebensphase nach
 überstand. Herzinfarkt
 Dtsch. med. Wschr. Nr. 18 94 1969 933

- 4 Heiss, F. Praktische Sportmedizin
 Ferd. Emke, Stuttgart 1960

- 5 Hollmann Prophylaxe von Kreislauferkrankungen

- 6 Hollmann Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Belast-
 barkeit von Kurpatienten
 Zschr. für phys. Medizin 1, 1 1970 S. 74, 80 ff

- 7 Hollmann Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreis-
 lauf und Atmung
 Darmstadt 1959 S. 2, 87 ff, 109, 159 ff 163

- | | | |
|----|--|---|
| 8 | Hollmann, W.,
H. Valentin und
H. Venrath | Vergleichende Arbeitsuntersuchungen männlicher und weiblicher Personen unter fortlaufender Registrierung von Ventilation, Stoffwechsel, Pulsfrequenz und Blutdruck.
Münchn. med. Wochenschr. 101 1959 1680 f |
| 9 | Knipping, H. und
W. Hollmann | Beurteilung der menschlichen Leistungsfähigkeit |
| 10 | Knipping, H. et al. | Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken
Stuttgart 1955 |
| 11 | Margaria, R. | Über den Wirkungsgrad beim Bergaufgehen
Arbeitsphysiologie 10 1939 515 |
| 12 | Mellerowicz, H. | Ergometrie
München-Berlin 1962 |
| 13 | Mellerowicz, H. | Präventive Kardiologie
Berlin 1961 52 |
| 14 | Müller, E. | Der Wirkungsgrad des Gehens
Arbeitsphysiologie 14 1950 271 |
| 15 | Müller, E. | Der Leistungspulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit
Arbeitsphysiologie 14 1950 271 |

Anhang

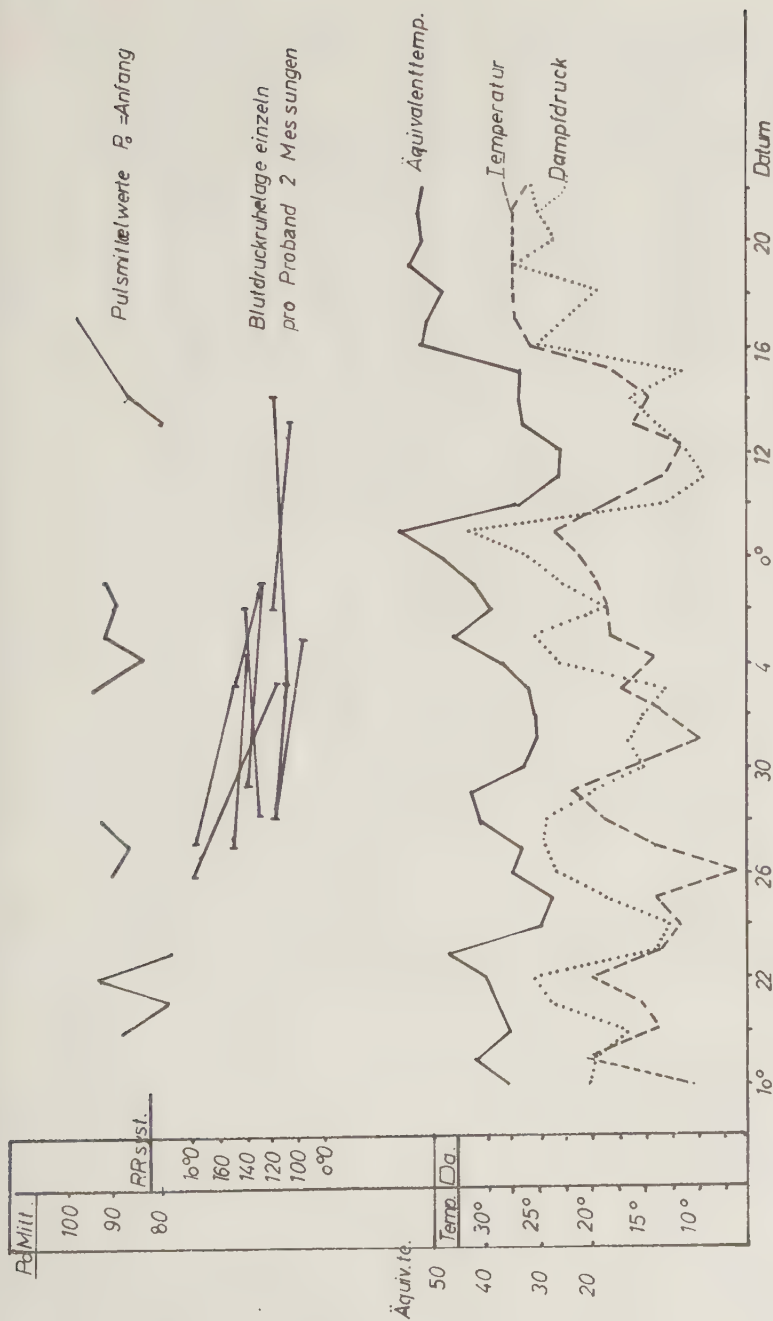


Abb. I Verhalten der Mittelwerte der Ruhepulse (P_0) und der Einzelwerte der Blutdrucks (jeweils 2 Messungen am gleichen Probanden) im Vergleich zu Temperatur, Äquivalenttemperatur und Dampfdruck. Es läßt sich keine Abhängigkeit der Kurven voneinander erkennen.

Fahrradergometertest Teil I Puls

Patient	Datum	Test	P ₀	P50 ₁	P50 ₃	P75 ₁	P75 ₃
1	30.6	1	85	104	110	119	120
	6.7	2	75	104	106	110	119
2	28.6	1	65	100	98	103	104
	10.7	2	55	79	77	81	84
3	6.7	1	75	100	115	115	121
	10.7	2	75	110	108	114	116
4	30.6	1	78	109	115	120	125
	---	---	---	---	---	---	---
5	10.7	1	75	90	92	97	96
	---	---	---	---	---	---	---
6	6.7	1	65	91	93	99	103
	---	---	---	---	---	---	---
7	29.6	1	65	100	100	109	109
	18.7	2	65	96	100	102	104
8	29.6	1	85	112	120	122	130
	18.7	2	42	84	84	89	91
9	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---
10	29.6	1	90	95	98	106	110
	10.7	2	75	86	87	91	93
11	29.6	1	72	98	103	110	---
	---	---	---	---	---	---	---
12	29.6	1	100	115	120	125	130
	---	---	---	---	---	---	---
13	30.6	1	60	81	85	92	94
	---	---	---	---	---	---	---
14	30.6	1	75	98	100	102	110
	---	---	---	---	---	---	---
15	30.6	1	100	121	132	138	141
	---	---	---	---	---	---	---
16	1.8	1	50	---	---	80	86
	---	---	---	---	---	---	---
17	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---
18	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---
19	10.7	1	75	90	---	90	100
	---	---	---	---	---	---	---

Fahrradergometertertest Teil II Puls

Patient	Datum	Test	P100 ₁	P100 ₃	P125 ₁	P125 ₃	P150 ₁	P150 ₃
1	26.6	1	120	120	--	--	--	--
	6.7	2	120	135	139	149	--	--
2	28.6	1	107	111	--	--	--	--
	10.7	2	94	96	110	110	--	--
3	6.7	1	131	140	--	--	--	--
	10.7	2	122	--	120	140	--	--
4	30.6	1	132	144	150	160	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
5	10.7	1	109	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
6	6.7	1	108	117	128	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
7	29.6	1	118	125	--	--	--	--
	18.7	2	114	117	121	129	140	140
8	29.6	1	134	140	143	150	--	--
	18.7	2	96	104	118	134	--	--
9	--	--	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
10	29.6	1	111	111	--	--	--	--
	10.7	2	97	98	107	116	120	--
11	29.6	1	120	115	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
12	29.6	1	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
13	30.6	1	98	102	108	120	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
14	30.6	1	111	115	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
15	30.6	1	143	140	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
16	1.8	1	90	90	101	124	130	140
	--	--	--	--	--	--	--	--
17	--	--	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
18	--	--	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--
19	--	--	--	--	--	--	--	--

Fahrradergometertest Teil III Puls

Patient	Datum	Test	P _{sof}	P _{30S}	P _{1min}	P _{2min}	P _{3min}	P _{10min}
1	30.6	1	124	116	100	100	100	75
	6.7	2	141	122	119	106	---	78
2	28.6	1	100	93	85	73	81	75
	10.7	2	---	87	---	---	60	62
3	6.7	1	120	97	90	95	79	65
	10.7	2	125	99	100	99	87	65
4	30.6	1	150	147	133	122	120	100
	---	---	---	---	---	---	---	---
5	10.7	1	96	92	86	76	76	70
	---	---	---	---	---	---	---	---
6	6.7	1	117	113	102	96	94	78
	---	---	---	---	---	---	---	---
7	29.6	1	115	98	92	84	80	75
	18.7	2	142	117	103	97	102	85
8	29.6	1	141	132	114	107	---	75
	18.7	2	---	110	100	89	88	55
9	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
10	29.6	1	109	109	105	---	104	88
	10.7	2	---	---	89	88	87	---
11	29.6	1	115	93	87	87	83	85
	---	---	---	---	---	---	---	---
12	29.6	1	130	125	115	112	110	90
	---	---	---	---	---	---	---	---
13	30.6	1	104	85	85	85	80	70
	---	---	---	---	---	---	---	---
14	30.6	1	114	105	102	90	94	75
	---	---	---	---	---	---	---	---
15	30.6	1	136	125	120	122	116	106
	---	---	---	---	---	---	---	---
16	1.8	1	---	100	96	86	78	50
	---	---	---	---	---	---	---	---
17	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
18	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
19	10.7	1	96	91	87	84	84	75

Fahrradergometer Blutdruck

Patient	L Test	RR _A	RR _E	RR _R
1	1	115/70	160/80	115/75
	2	125/75	190/90	120/75
2	1	105/75	130/70	105/75
	2	100/70	125/80	95/60
3	1	130/75	175/80	130/75
	2	125/75	160/85	120/75
4	1	145/80	180/80	140/75
		---	---	---
5	1	130/75	190/110	140/75
		---	---	---
6	1	135/70	180/70	130/70
		---	---	---
7	1	130/90	180/100	140/80
	2	170/110	---	150/90
8	1	130/80	160/80	125/80
	2	115/75	165/90	---
9	-	---	---	---
		---	---	---
10	1	120/80	140/70	110/80
	2	125/70	---	125/75
11	1	105/65	135/65	105/60
		---	---	---
12	1	100/70	140/70	120/65
		---	---	---
13	1	120/70	180/65	120/70
		---	---	---
14	1	110/80	180/95	100/70
		---	---	---
15	1	145/85	180/80	140/80
		---	---	---
16	1	115/75	165/85	115/75
		---	---	---
17	1	---	---	---
18	-	---	---	---
19	1	135/80	160/80	145/75

Datum siehe Pulstabellen

Terraintest, 68 Schritte/Min Puls

Patient	Datum	Zeit	P ₀	P100	p200	P300	P400
1	19.6.	10	---	---	---	---	---
2	21.6.	10	76	96	96	104	92
3	22.6.	10	88	136	136	144	144
4	23.6.	10	72	104	100	108	104
5	22.6.	14	76	88	98	104	96
6	21.6.	11	84	88	96	104	96
7	20.6.	11	88	108	112	---	108
8	22.6.	11	80	92	104	112	104
9	26.6.	11	88	100	100	100	100
10	21.6.	14	80	92	92	100	92
11	26.6.	14	76	100	100	120	80
12	27.6.	10,30	92	108	108	120	116
13	29.6.	15,30	68	80	92	100	84
14	28.6.	13	104	116	120	128	120
15	29.6.	14	68	---	---	---	106
16	13.7.	10	76	88	88	104	92
17	14.7.	10	76	80	80	84	76
18	17.7.	10	88	92	96	112	112
19	17.7.	11,30	92	96	100	108	96

Terraintest 100 Schritte/ Min Puls

Patient	Datum	Zeit	Lauf	P ₀	P100	P200	P300	P400
1	26.6	10	1	104	128	136	148	148
	3.7	10	2	100	120	124	140	120
2	28.6	11	1	84	108	108	128	92
	5.7	9	2	112	112	116	128	120
3	29.6.	10	1	76	132	132	144	136
	6.7	11,30	2	88	124	146	152	132
4	3.7	11	1	100	120	120	132	104
	7.7	10	2	80	104	104	124	120
5	27.6	9	1	88	108	108	120	96
	3.7	8,15	2	84	112	112	128	120
6	28.6	8,15	1	88	100	100	112	100
	5.7	10	2	84	100	104	112	108
7	27.6	13,15	1	80	116	120	130	120
	4.7	13	2	84	120	120	132	120
8	3.7	14	1	80	112	120	140	108
	7.7	8,30	2	92	124	124	136	132
9	3.7	13	1	96	112	120	128	108
	14.7	13	2	96	112	112	128	120
10	28.6	11,15	1	92	108	108	112	96
	4.7	11,30	2	76	100	104	120	100
11	5.7	13	1	80	120	120	144	120
	13.7	8,45	2	76	120	120	132	120
12	5.7	11,15	1	104	120	136	156	152
	---	---	---	---	---	---	---	---
13	6.7	10	1	80	100	100	104	80
	13.7	13	2	88	96	96	112	100
14	6.7	8,30	1	120	128	142	148	152
	14.7	11,30	2	104	128	132	144	140
15	6.7	13	1	84	108	108	124	92
	17.7	8,30	2	112	132	132	152	132
16	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
17	20.7	10	1	76	88	88	96	96
	---	---	---	---	---	---	---	---
18	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
19	20.7	8,30	1	88	112	112	124	120

Terraintest 110 Schritte/Min Puls

Patient	Datum	Zeit	P ₀	P100	P200	P300	P400
1	3.7	10	100	140	144	156	120
2	5.7	9	88	120	120	132	120
3	6.7	11,30	88	144	148	156	152
4	7.7	10	88	120	120	130	134
5	3.7	8,15	92	112	132	144	116
6	5.7	10	92	112	116	132	124
7	4.7	13	100	124	132	140	128
8	7.7	8,30	104	128	130	156	148
9	14.7	13	92	124	124	136	120
10	4.7	11,30	68	120	120	144	116
11	13.7	8,45	84	128	132	148	124
12	--	--	--	--	--	--	--
13	13.7	13	84	108	112	124	104
14	--	--	--	--	--	--	--
15	--	--	--	--	--	--	--
16	--	--	--	--	--	--	--
17	20.7	10	76	92	96	104	100
18	--	--	--	--	--	--	--
19	20.7	8,30	92	124	128	140	144

Terraintest Blutdruck Teil I 68 Schritte

Patient	Datum	Zeit	RR _A	RR _E
1	19.6.	10	140/95	160/100
2	21.6.	10	125/80	130/80
3	22.6.	10	140/105	170/125
4	23.6.	10	180/100	190/100
5	22.6.	14	180/130	190/130
6	21.6.	11	130/100	135/100
7	20.6.	11	160/100	180/160
8	23.6.	11	130/90	150/110
9	26.6.	11	110/80	130/80
10	21.6.	14	120/90	120/90
11	26.6.	14	110/70	120/80
12	27.6.	11	110/70	110/90
13	29.6.	15,30	125/70	140/80
14	28.6.	13	140/80	170/100
15	29.6.	14	130/90	145/95
16	13.7.	10	115/80	115/80
17	14.7.	10	105/70	140/90
18	17.7.	10	100/70	105/80
19	17.7.	11,30	150/95	155/90

110 Schritte

1	3.7.	10	120/80	190/80
2	5.7.	9	110/80	110/80
3	6.7.	11,30	140/100	180/110
4	7.7.	10	125/85	160/75
5	3.7.	8,15	170/100	210/110
6	5.7.	10	130/80	180/80
7	4.7.	13	140/110	170/110
8	7.7.	8,30	140/110	150/100
9	14.7.	13	115/80	140/80
10	4.7.	11,30	140/100	170/90
11	13.7.	8,45	105/70	140/70
12	--	--	--	--
13	13.7.	13	120/60	160/60
14	--	--	--	--
15	--	--	--	--
16	--	--	--	--
17	20.7.	10	110/70	170/70
18	--	--	--	--
19	20.7.	8,30	130/80	210/60

Terraintest Blutdruck Teil II 84 Schritte/Min

Patient	Datum	Zeit	Lauf	RR _A	RR _E
1	19.6.	10	1	145/100	160/100
	26.6.	10	2	150/100	130/100
2	21.6.	10	1	110/90	125/90
	28.6.	11	2	110/80	130/80
3	22.6.	10	1	140/105	170/125
	29.6.	10	2	140/90	160/100
4	23.6.	10	1	180/100	180/100
	3.7.	11	2	150/90	170/90
5	22.6.	14	1	180/130	180/130
	27.6.	9	2	160/100	170/100
6	21.6.	11	1	120/90	120/100
	28.6.	8, 15	2	120/90	130/90
7	20.6.	11	1	140/95	170/110
	27.6.	13, 15	2	150/100	170/100
8	23.6.	11	1	140/100	140/100
	3.7.	14	2	135/100	140/100
9	26.6.	11	1	110/80	120/90
	3.7.	13	2	120/80	130/80
10	21.6.	14	1	120/90	130/95
	28.6.	11, 15	2	130/90	140/100
11	26.6.	14	1	110/70	110/70
	5.7.	13	2	115/80	150/80
12	27.6.	14	1	110/90	120/90
	5.7.	11, 15	2	130/90	130/80
13	29.6.	15, 30	1	125/80	125/75
	6.7.	10	2	120/80	160/80
14	28.6.	13	1	150/100	210/100
	6.7.	8, 30	2	130/100	200/100
15	29.6.	14	1	130/95	130/90
	6.7.	13	2	125/90	160/110
16	13.7.	10	1	115/80	125/80
17	14.7.	10	1	105/70	140/80
18	17.7.	10	1	95/70	115/80
19	17.7.	11, 30	1	150/90	160/90

Terraintest Blutdruck Teil II 100 Schritte/Min

Patient	Datum	Zeit	Lauf	RR _A	RR _E
1	26.6	10	1	180/110	140/100
	3.7.	10	2	120/80	150/80
2	28.6.	11	1	120/80	140/90
	5.7.	9	2	100/60	110/80
3	29.6.	10	1	140/100	210/120
	6.7.	11,30	2	140/100	180/100
4	3.7.	11	1	150/90	190/90
	7.7.	10	2	130/80	145/80
5	27.6.	9	1	180/110	210/110
	3.7.	8,15	2	150/100	170/100
6	28.6.	8,15	1	120/90	140/80
	5.7.	10	2	110/80	140/80
7	27.6.	13	1	150/100	170/100
	4.7.	13	2	140/100	170/110
8	3.7.	14	1	135/90	150/100
	7.7.	8,30	2	130/100	150/110
9	3.7.	13	1	110/80	130/80
	14.7.	13	2	120/80	125/80
10	28.6.	11,15	1	130/90	150/90
	4.7.	11,30	2	140/100	160/100
11	5.7.	13	1	100/70	170/80
	13.7.	8,45	2	105/70	135/70
12	5.7.	11,15	1	110/90	160/80
	---	---	---	---	---
13	6.7.	10	1	120/90	140/90
	13.7.	13	2	105/60	130/60
14	6.7.	8,30	1	130/90	200/80
	14.7.	11,30	2	120/90	170/90
15	6.7.	13	1	145/100	160/110
	17.7.	8,30	2	130/70	180/100
16	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---
17	20.7.	10	1	100/55	170/80
	---	---	---	---	---
18	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---
19	20.7.	8,30	1	135/80	170/80
	---	---	---	---	---

Terraintest		Laufzeit			
Patient	Lauf	68 S/m	84 S/m	100 S/m	110S/m
1	1	8'	6'35	5'50	4'50
	2		6'40	5'50	
2	1	8'45	6'45	5'15	4'30
	2		6'10	5'10	
3	1	8'40	7'20	5'	4'18
	2		6'	4'40	
4	1	4'50	6'50	5'5	4'15
	2		6'15	4'45	
5	1	9'10	7'30	5'40	4'45
	2		6'40	5'35	
6	1	8'	6'30	5'30	4'28
	2		6'45	5'15	
7	1	8'10	6'55	5'20	4'35
	2		6'35	5'20	
8	1	8'49	6'40	5'35	4'30
	2		6'35	5'10	
9	1	10'	7'	5'40	4'40
	2		6'40	5'10	
10	1	8'30	7'20	5'40	4'35
	2		6'45	5'25	
11	1	8'35	7'	5'25	4'40
	2		6'5	5'15	
12	1	9'30	6'35	5'10	
	2		6'10		
13	1	8'15	6'15	5'30	4'35
	2		6'30	5'15	
14	1	9'25	6'35	5'30	
	2		6'15	5'40	
15	1	9'	6'	5'40	
	2		6'25	5'20	
16	1	8'30	5'50		
17	1	8'50	6'50	5'35	5'
18	1	9'15	7'		
19	1	8'45	7'5	5'	4'25

O₂-und CO₂ Konzentrationen der Ausatemluft

Terraintest

68 Schritte/Min

Patient	Bl _A	V _a	O _{2A}	CO _{2A}	Bl _E	V _E	O _{2E}	CO _{2E}
1		25	1,9	2,4		27	2,4	2,6
2		27	1,6	2,2		31	1,6	2,1
3		32	1,3	2,0		23	1,4	1,6
4		31	1,4	2,2		39	1,7	2,4
5		27	1,2	1,7		28	1,5	2,1
6		31	1,7	2,4		29	2,0	2,5
7		37	2,8			33	2,6	2,6
8		33	1,3	2,0		28	1,7	2,3
9		--	--	--		--	--	--
10		33	2,3	2,6		29	1,8	2,2
11		32	3,4	3,6		30	3,5	3,7
12		34	1,6	1,6		28	2,5	2,6
13	2	26	3,1	2,6	2	26	1,9	2,5
14	1,5	32	2,6	1,8	1,5	29	2,0	2,3
15	2	22	2,7	2,0	2	25	2,4	2,2
16	2	37	2,6	3,1	1	32	2,4	2,9
17		--	--	--		--	--	--
18	1,5	19	2,0	2,0	1	17	2,7	2,6
19	1,5	33	2,7	2,7	1	25	3,0	2,9

110 Schritte/Min

1	2	27	1,8	1,6	1	32	2,4	2,6
2	1	35	1,2	1,8	1	30	1,8	2,5
3	1	35	1,4	1,7	0,5	28	2,9	3,0
4	1,5	28	1,4	1,9	1,5	31	1,4	2,0
5	1	27	1,6	1,9	1	30	3,2	3,1
6	1	35	1,6	2,0	1	31	2,8	3,1
7	1,5	34	1,5	2,1	1,5	35	2,7	3,1
8	1	33	2,0	2,3	1	33	3,0	3,1
9	1	26	1,6	2,4	1	32	3,1	3,6
20	2	32	1,8	2,1	1	35	2,6	3,1
11	1	31	1,5	2,3	1	33	3,0	3,3
12		--	--	--		--	--	--
13	1,5	37	3,4	3,6	1	32	4,0	4,2
17	1	24	2,2	2,6	1	23	2,9	3,4
19	1	24	2,3	2,5	1	37	2,8	3,4

Datum und Uhrzeit siehe Pulstabellen

Bl = Blaszeit (Min)

V = Volumen (l)

O₂ und CO₂ -Anteil, Konzentrationen der Ausatemluft
Terraintest 84 Schritte/Min

Patient	Lauf	BLA	V _A	O _{2A}	CO _{2A}	Bl _E	V _E	O _{2E}	CO _{2E}
1	1		27	2,2	2,2		32	2,5	2,5
	2		35	2,2	2,2		27	2,5	2,5
2	1		33	1,8	2,8		23	1,6	2,6
	2	1,5	40	1,9	2,0	1	35	1,9	2,4
3	1		29	1,8	2,0		34	1,6	2,0
	2	1,5	32	2,5	2,5	1	32	2,1	2,3
4	1		25	1,4	1,9		34	1,7	2,2
	2	1	35	1,5	2,0	1	32	2,6	2,9
5	1		30	1,3	1,7		30	1,7	2,1
	2		30	1,6	2,1		27	2,1	2,6
6	1	3	31	1,5	1,7		--	--	--
	2		--	1,9	1,9		35	2,0	2,4
7	1		30	2,6	2,2		27	1,8	2,2
	2	2	34	2,5	2,6	1,5	28	2,5	2,9
8	1		25	1,3	1,7		32	2,1	2,4
	2	2	31	2,1	2,3	1	25	2,6	2,5
9	1		--	--	--		--	--	--
	2	2	30	1,9	2,2	2	36	2,7	2,7
10	1		37	1,4	1,9		35	1,7	2,0
	2	1,5	35	2,0	2,1	1	34	2,2	2,4
11	1		30	2,5	3,0		30	3,6	3,8
	2		--	3,2	3,1	1	31	3,3	3,4
12	1		26	1,8	1,9		30	2,9	2,7
	2		--	--	--		--	--	--
13	1	1,5	28	2,1	2,5	1,5	31	1,6	2,2
	2	1,5	29	2,0	2,4	1,5	32	2,8	3,1
14	1	1,5	28	1,8	2,1	1,5	31	2,5	3,0
	2	1,5	36	2,0	1,8	1	35	2,9	2,9
15	1	2	25	2,2	2,0	2	27	2,7	2,2
	2	2	27	2,5	2,3	1,5	32	2,5	2,7
16	1	1	32	2,0	2,4		30	2,4	2,7
18	1	1	21	2,0	2,2	1	19	2,6	2,7
19	1	1	20	2,2	2,2	1	26	2,9	2,8

Datum und Uhrzeit siehe Pulstabellen

Bl=Blaszeit (Min)

V=Volumen (l)

O₂ und CO₂ Konzentration der Atemluft

Terraintest

100Schritte/Min

Patient	Lauf	Bl _A	V _A	O _{2A}	CO _{2A}	Bl _E	V _E	O _{2E}	CO _{2E}
1	1		27	1,9	2,0		31	2,6	2,6
	2	2	23	2,7	2,0	1	32	2,6	2,7
2	1	1	34	1,5	2,0	1	31	2,2	2,6
	2	1	38	1,2	2,0	1	32	2,2	2,7
3	1	1	31	2,6	2,9	1	35	2,0	2,0
	2	1	35	1,2	1,9	0,75	38	---	---
4	1	1	29	1,7	2,1	1	30	3,0	2,1
	2	2	30	1,4	1,8	1,5	31	1,6	2,2
5	1		28	1,2	1,8		30	2,7	2,8
	2	1	33	1,6	2,0	1	32	2,3	2,5
6	1		27	2,1	2,3		26	2,9	3,0
	2	1,5	42	1,4	1,9	1	30	2,2	2,8
7	1	1,5	28	2,7	2,5	2	33	2,8	3,0
	2	1,5	35	2,1	2,4	1,5	37	2,7	3,2
8	1		---	---	---	1,5	32	2,6	2,6
	2	1	35	2,0	2,1	1	34	3,1	3,1
9	1	---	---	---	---	2	33	2,6	2,8
	2	1	22	2,3	2,6	1	30	2,6	3,2
10	1	1,5	28	1,6	2,0	1,5	32	2,0	2,5
	2	2	36	2,5	2,6	1	32	2,9	3,2
11	1	1,5	30	2,5	2,8	1	32	2,9	3,2
	2	1	30	1,9	2,5	1	32	3,2	3,6
12	1		---	---	---	---	---	---	---
13	1	1,5	30	2,3	2,5	1,5	32	3,1	3,3
	2	2	35	2,3	2,6	1	30	2,6	2,3
14	1	1	28	1,8	1,9	1	32	2,8	2,9
	2	1	23	2,1	2,2	1	38	2,9	3,3
15	1	2	31	2,7	2,9	1,5	30	1,9	2,0
	2	1	20	2,4	2,2	1	25	2,9	2,8
17	1	1	22	1,8	2,4	1	23	2,7	3,2
19	1	1		2,3	1,9	1	28	2,9	3,2

Datum und Uhrzeit siehe Pulstabellen

Bl = Blaszeit (Min)

V = Volumen (l)

Die Meßwerte von

Puls 2 und 3 Min nach dem jeweiligen Lauf,

Blutdruck 1 1/2 und 2 1/2 Min nach dem Lauf,

Temperatur

Dampfdruck

Äquivalenttemperatur

sind im Institut für Medizinische

Balneologie und Klimatologie der

Universität München hinterlegt.

Für die Überlassung des Themas danke ich den Herren Prof. Dr. Drexel und Diplom-Physiker Dirnagl.

Letzterem danke ich besonders für die hilfreiche Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchung, ebenso Herrn Dr. Friedmann.

Herrn Dr. Kleinschmidt, dem Chefarzt und Leiter der Kliniken Fruth, Oberland und Kaiserhof danke ich für die Bereitstellung seiner Räumlichkeiten und Einrichtungen, Frau Dr. Bertram, Frau Dr. Camaj und Herrn Dr. Mettal für die Auswahl und Anleitung der Patienten.

Herrn Kurdirektor Schwarz danke ich für die freundliche Betreuung während meines Aufenthaltes in Bad Tölz.

Allen Probanden danke ich für ihre Aufgeschlossenheit und ihre aktive Teilnahme.

Lebenslauf

Thomas Christmann

geboren am

20. 1. 1947 in Immenstadt/Allgäu

Eltern

Dr. Kurt Christmann, Zahnarzt
Ursula Christmann, geb. Haserodt

Schulen

Volksschule Immenstadt
Oberrealschule Maria Stern, Immenstadt
Oberrealschule Oberstdorf

Abitur

Herbst 1967

Universität

Hohenheim/Stuttgart 1967 - 1969 Medizin
München 1969 - 1974 Medizin

Staatsexamen

1974

